

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Tomio ONO, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: MICROSWITCH AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

**REQUEST FOR PRIORITY**

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-274365	September 20, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- are submitted herewith
- will be submitted prior to payment of the Final Fee
- were filed in prior application Serial No. filed
- were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- (B) Application Serial No.(s)  
 are submitted herewith  
 will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

  
C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

0380455

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 9月20日

出願番号

Application Number:

特願2002-274365

[ST.10/C]:

[JP2002-274365]

出願人

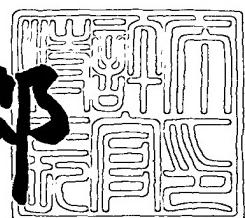
Applicant(s):

株式会社東芝

2003年 4月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3025648

【書類名】 特許願  
【整理番号】 13B0270401  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/00  
【発明の名称】 マイクロスイッチ及びその製造方法  
【請求項の数】 9  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝  
研究開発センター内  
【氏名】 小野 富男  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝  
研究開発センター内  
【氏名】 酒井 忠司  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝  
研究開発センター内  
【氏名】 佐久間 尚志  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝  
研究開発センター内  
【氏名】 鈴木 真理子  
【特許出願人】  
【識別番号】 000003078  
【氏名又は名称】 株式会社 東芝  
【代理人】  
【識別番号】 100083161  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 外川 英明

【電話番号】 (03)3457-2512

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010261

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マイクロスイッチ及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、この基板上に設けられ、互いに接触する状態と非接触となる状態とを繰り返す第1の電極部及び第2の電極部を具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、その前記表面に達する第1の細孔群を有する第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、その前記接触面に達する第2の細孔群を有する第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とするマイクロスイッチ。

【請求項2】 基板と、この基板上に設けられ、互いに接触する状態と非接触となる状態とを繰り返す第1の電極部及び第2の電極部を具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、第1の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、第2の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とするマイクロスイッチ。

【請求項3】 基板と、この基板上に設けられた第1の電極部と、前記基板上に設けられ、前記基板の表面と離間しつつ当該表面と平行な方向に延在する可動性の柱状部分を有する支持部材と、この支持部材に支持されて前記第1の電極部と離間して設けられ、前記柱状部分の動きにより前記第1の電極部の表面と接触する接触面を有する第2の電極部とを具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、その前記表面に達する第1の細孔群を有する第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、その前記接触面に達する第2の細孔群を有する第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とするマイクロスイッチ。

【請求項4】 基板と、この基板上に設けられた第1の電極部と、前記基板上に設けられ、前記基板の表面と離間しつつ当該表面と平行な方向に延在する可動性

の柱状部分を有する支持部材と、この支持部材に支持されて前記第1の電極部と離間して設けられ、前記柱状部分の動きにより前記第1の電極部の表面と接触する接触面を有する第2の電極部とを具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、第1の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、第2の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とするマイクロスイッチ。

【請求項5】 前記第1の金属材料部及び第2の金属材料部の少なくともいずれかに対して接続する金属層をさらに備えたことを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のマイクロスイッチ。

【請求項6】 前記第1の金属材料部及び第2の金属材料部の少なくともいずれかの表面は、前記第1の細孔群又は前記第2の細孔群の各々の細孔内に位置することを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載のマイクロスイッチ。

【請求項7】 前記第1及び第2の炭素系材料層は、n型若しくはp型の不純物をドープしたダイヤモンド若しくはグラファイトからなることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のマイクロスイッチ。

【請求項8】 請求項1乃至7のいずれかに記載のマイクロスイッチを製造するマイクロスイッチの製造方法であって、前記第1の電極部を形成する工程及び前記第2の電極部を形成する工程はそれぞれ、炭素系材料層上に金属層を形成する工程と、この金属層を酸溶液中で陽極酸化して少なくとも当該金属層表面に多孔質被膜を形成する工程と、前記多孔質被膜をマスクとして前記炭素系材料層を異方性エッティングして細孔群を形成する工程と、当該細孔群内に金属材料部を埋め込む工程とを具備することを特徴とするマイクロスイッチの製造方法。

【請求項9】 前記金属層は、アルミニウム、チタン、タンタル、銅のいずれか若しくはこれらの合金からなることを特徴とする請求項8記載のマイクロスイッチの製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はマイクロスイッチ及びその製造方法に係わり、特に炭素系材料薄膜を用いたマイクロスイッチ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体微細加工技術を用いて微細な機械構造を電子回路と一体化して作製するMEMS(MicroElectroMechanical Systems)技術が脚光を浴びている。MEMS技術の応用は多岐にわたるが、その一つに微小な機械スイッチ(以下ではマイクロスイッチと呼ぶ。)がある。このようなマイクロスイッチは半導体スイッチよりも良好な周波数特性を有しており通信分野への応用が期待されている。また従来の電磁力を用いたリレーよりも小型化、集積化が容易であることから自動車分野への応用が期待されている。

【0003】

このようなMEMS技術を用いたマイクロスイッチの一例としてNiメッキを用いて作製したマイクロスイッチが報告されている(例えば、非特許文献1参照。)。

【0004】

図5は、この文献に掲載されたマイクロスイッチの製造方法を模式的に示す工程断面図である。まず、図5(a)に示すようにSi基板100上にシリコン酸化膜101を形成し、さらにCr膜102と第1のコンタクト層となるAu膜103を成膜する。

【0005】

次に、図5(b)に示すようにフォトリソグラフィーを用いたパターニングによりソース電極104、ゲート電極105、及びドレイン電極106を形成する。さらに図5(c)に示すように犠牲層となるCu層107を成膜し、エッティングにより半球状の凹部108とソース電極104に到達するホール109を形成する。

【0006】

次に、図5(d)に示すようにレジスト層110をパターンニングした後、第2のコンタクト層となるAu膜111を成膜し、さらにNiメッキにより梁(以下ではビームと呼ぶ。)112を作製する。最後に図5(e)に示すようにレジスト層110と犠牲層であるCu層107を除去し、素子が完成する。

## 【0007】

このようなマイクロスイッチにおいては、ゲート電極105に電圧を印加すると静電気力によりビーム112が基板側に変形し、電圧がある値を超えると静電力がビーム112の弾性力に打ち勝ってビーム先端に形成された半球状の接点113がドレン電極106に接触してソース-ドレン間が導通しオン状態となる。ゲート電極105への印加電圧を取り去るとビーム112は元の状態へと復帰し、接点113がドレン電極106から離れオフ状態となる。

## 【0008】

ここで、マイクロスイッチにおいて接点材料にAuがよく用いられる。これは以下の理由による。即ち、一般にマイクロスイッチのオン抵抗は、接触面の凹凸のために、真実接触面積が見かけの接触面積よりはるかに微小であることに起因する接触抵抗と接触面が薄い絶縁層で覆われることによる被膜抵抗とからなる。前者を小さくするには接触力を大きくして接触面積を大きくするか、変形しやすい材料を使用する必要がある。また、後者を小さくするには接触力を大きくして表面の絶縁層を機械的に破壊するか、絶縁層を形成しにくい材料を使用する必要がある。しかしながらマイクロスイッチにおいては通常、駆動力として静電気力が用いられており、静電気力は微小であり  $\mu\text{N}$  から  $\text{mN}$  程度の接触力しか発生できない。従って、変形しやすく、表面に絶縁層を形成しないAuがよく用いられている。

## 【0009】

しかしながら、このようにして作製したマイクロスイッチはその寿命に問題があることが指摘されている。特に、コンタクト層に用いられているAuはスティッキング(接点の両極がくっついて開離困難となる現象)が起こりやすい接点材料として知られており、長時間の信頼性には問題があった。

## 【0010】

上述のスティッキングの問題を解決する方法として、ダイヤモンド薄膜を用いたマイクロスイッチが報告されている(例えば、非特許文献2参照。)。

## 【0011】

図6にこの文献に掲載されたダイヤモンド薄膜を用いたマイクロスイッチの製

造方法を示す。まず、図6(a)に示すようにSi基板120上に絶縁層となるi型のダイヤモンド薄膜121を成膜する。

#### 【0012】

次に、図6(b)に示すように高濃度にp<sup>+</sup>型のダイヤモンド薄膜を形成し、パターニングによりゲート電極122と第1のコンタクト層123を形成する。次に、図6(c)に示すように犠牲層となるSiO<sub>2</sub>層124を成膜し、エッチングにより凹部125とホール126を形成する。

#### 【0013】

次に図6(d)に示すようにp<sup>+</sup>型のダイヤモンド薄膜を形成し、パターニングによりビーム127を形成する。この時、ビーム127の先端には接点128が形成される。最後に、図6(e)に示すように犠牲層124を除去し、メタル電極129,130を形成して素子が完成する。

#### 【0014】

また、図7に同じ研究グループによる別の報告例を示す（例えば、非特許文献3参照。）。図6と対応する部分には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。この例は、図中矢印で示したメタル電極139からp<sup>+</sup>型のダイヤモンドからなる接点138と第1のコンタクト層123を経由してメタル電極130へ至る電流経路をできる限り短くしたものであり、ダイヤモンド薄膜のバルク抵抗に起因する抵抗分を小さくすることを目的としている。なお、131はダイヤモンドアンカー、132はゲートコンタクトである。

#### 【0015】

ダイヤモンドと同じ炭素系材料であるグラファイトはスティキングが起こらない材料として従来から知られており、しゅう動接点材料として使用されている。ダイヤモンドも同様にスティキングが生じないことが上述の研究グループにより報告されている（例えば、非特許文献2参照。）。

#### 【0016】

ダイヤモンドは機械特性、熱伝導性及び耐食性にも優れており、大きな電流を長期にわたり安定してスイッチングできるマイクロスイッチを実現できる可能性を有している。

【0017】

【非特許文献1】

ポール・M・ザブラッキ (Paul M. Zavracky) 他, 「マイクロメカニカル・スイッチズ・ファブリケーテド・ユージング・ニッケル・サーフェス・マイクロマシーニング (Micromechanical Switches Fabricated Using Nickel Surface Micromachining)」, 「ジャーナル・オブ・マイクロエレクトロメカニカル・システムズ (Journal of Microelectromechanical Systems)」, (米国), (I EEE / I E E), 1997年, 第6巻, p. 3, Fig. 2

【0018】

【非特許文献2】

S・エルトル (S. Ertl) 他, 「サーフェス・マイクロマシンド・ダイヤモンド・マイクロスイッチ (Surface micromachined diamond microswitch)」, 「ダイヤモンド・アンド・リレーテド・マテリアルズ (Diamond and Related Materials)」, (オランダ), 「エルセビア・サイエンス (Elsevier Science)」, 2000年, 第9巻, p. 970, Fig. 2

【0019】

【非特許文献3】

M・アダムシック (M. Adamschik) 他, 「ダイヤモンド・マイクロウェーブ・マイクロ・リレー (Diamond microwave micro relay)」, 「ダイヤモンド・アンド・リレーテド・マテリアルズ (Diamond and Related Materials)」, (オランダ), 「エルセビア・サイエンス (Elsevier Science)」, 2002年, 第11巻, p. 672

【0020】

【発明が解決しようとする課題】

前述のダイヤモンド薄膜を用いたマイクロスイッチはその優れた機械特性、熱伝導性及び耐食性に加え、ステイキングが生じにくい特性を有しているため、大きな電流を長期にわたり安定してスイッチングできる信頼性に優れたマイクロスイッチを実現できる可能性を有している。

【0021】

しかしながら、前述の図6及び図7の例における素子は以下に述べるような大きな問題を有している。即ち、ダイヤモンドは基本的に半導体であり、 $p^+$ 型のダイヤモンド（Bドープダイヤモンド）の抵抗率は通常のメタルの1000倍以上ある。メタルで作製したマイクロスイッチのオン抵抗は接触界面における接触抵抗でほぼ決まるが、ダイヤモンドで作製したマイクロスイッチのオン抵抗は、接触抵抗とダイヤモンド薄膜のバルク抵抗に起因する直列抵抗（これらの抵抗の和）に相当する。このため、接触面の平坦化等の手段により接触面積を大きくし接触抵抗を低減できても、直列抵抗も低減させないとオン抵抗を下げる事はできない。

#### 【0022】

図7の例では $p^+$ 型のダイヤモンド薄膜からなる接点138の厚さを薄くして背面のメタル電極139と接触面との距離を小さくしているが、機械的な強度の点からこの手法には限界がある。また、ダイヤモンドは通常CVD法により成膜するが、成膜初期の段階では孤立した粒子状であり、連続膜となるのは膜がある程度厚みを持った段階であるので、薄い連続膜を作製すること自体が困難である。さらに、図7の例では接触面から電極130までの距離は膜に水平な方向の距離に相当し、このため第1のコンタクト層123における抵抗分を小さくすることは困難である。

#### 【0023】

なお、同じ炭素系材料であるグラファイトもダイヤモンドと同様にステイキングが生じにくいが、抵抗率がやはりメタルに比べると数桁大きいというダイヤモンドと同様の問題を有している。

#### 【0024】

本発明はかかる観点に基づいてなされたものであり、炭素系材料の高信頼性を生かし、オン抵抗の低いマイクロスイッチ及びその製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0025】

【課題を解決するための手段】

(構成)

上述した課題を解決するために、本発明の第1のマイクロスイッチは、基板と、この基板上に設けられ、互いに接触する状態と非接触となる状態とを繰り返す第1の電極部及び第2の電極部を具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、その前記表面に達する第1の細孔群を有する第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、その前記接触面に達する第2の細孔群を有する第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とする。

## 【0026】

また、本発明の第2のマイクロスイッチは、基板と、この基板上に設けられ、互いに接触する状態と非接触となる状態とを繰り返す第1の電極部及び第2の電極部を具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、第1の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、第2の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とする。

## 【0027】

また、本発明の第3のマイクロスイッチは、基板と、この基板上に設けられた第1の電極部と、前記基板上に設けられ、前記基板の表面と離間しあつ当該表面と平行な方向に延在する可動性の柱状部分を有する支持部材と、この支持部材に支持されて前記第1の電極部と離間して設けられ、前記柱状部分の動きにより前記第1の電極部の表面と接触する接触面を有する第2の電極部とを具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、その前記表面に達する第1の細孔群を有する第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、その前記接触面に達する第2の細孔群を有する第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とする。

## 【0028】

また、本発明の第4のマイクロスイッチは、基板と、この基板上に設けられた第1の電極部と、前記基板上に設けられ、前記基板の表面と離間しつつ当該表面と平行な方向に延在する可動性の柱状部分を有する支持部材と、この支持部材に支持されて前記第1の電極部と離間して設けられ、前記柱状部分の動きにより前記第1の電極部の表面と接触する接触面を有する第2の電極部とを具備するマイクロスイッチであって、前記第1の電極部は、第1の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第1の炭素系材料層と、前記第1の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第1の金属材料部とを有し、前記第2の電極部は、第2の細孔群が膜厚方向に貫通して設けられた第2の炭素系材料層と、前記第2の細孔群の各々の細孔内に埋め込まれた第2の金属材料部とを有することを特徴とする。

## 【0029】

以上の本発明の第1乃至第4のいずれかのマイクロスイッチにおいて、以下の構成を備えることが好ましい。

## 【0030】

(1) 前記第1の金属材料部及び第2の金属材料部の少なくともいずれかに対して接続する金属層をさらに備えたこと。

## 【0031】

(2) 前記第1の金属材料部及び第2の金属材料部の少なくともいずれかの表面は、スティキングを確実に防止する観点から、前記第1の細孔群又は前記第2の細孔群の各々の細孔内に位置すること。特に、オン抵抗を十分低減するため、前記細孔の開口部近傍（例えば、開口部から $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の位置）に位置することが好ましい。

## 【0032】

(3) 前記第1及び第2の炭素系材料層は、n型若しくはp型の不純物をドープしたダイヤモンド若しくはグラファイトからなること。

## 【0033】

(4) 前記細孔群の細孔の密度は、 $10^9/\text{cm}^2$ 以上 $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下であること。

## 【0034】

(5) 前記細孔群の各々の細孔の直径は、10nm以上100nm以下であること。

【0035】

また、本発明のマイクロスイッチの製造方法は、上記した本発明の第1乃至第4のいずれかのマイクロスイッチを製造するマイクロスイッチの製造方法であって、前記第1の電極部を形成する工程及び前記第2の電極部を形成する工程はそれぞれ、炭素系材料層上に金属層を形成する工程と、この金属層を酸溶液中で陽極酸化して少なくとも当該金属層表面に多孔質被膜を形成する工程と、前記多孔質被膜をマスクとして前記炭素系材料層を異方性エッティングして細孔群を形成する工程と、当該細孔群内に金属材料部を埋め込む工程とを具備することを特徴とする。

【0036】

かかるマイクロスイッチの製造方法において、前記金属層は、アルミニウム、チタン、タンタル、銅のいずれか若しくはこれらの合金（少なくとも2つの金属の合金）からなることが好ましい。

【0037】

また、前記多孔質被膜の底部に残存する層のみを前記異方性エッティングに先立って異方性エッティング等のエッティングにより選択的に除去しておくことが好ましい。

【0038】

また、前記細孔群内に金属材料部を埋め込むにはメッキ等の方法を用いることが好ましい。

【0039】

(作用)

本発明によれば、第1及び第2の炭素系材料層それぞれの細孔群の各細孔内に抵抗率が小さい第1の金属材料部及び第2の金属材料部を埋め込み、第1の金属材料部及び第2の金属材料部から電流が通過する第1及び第2の炭素系材料層の接触点までの距離を十分に小さくしているので、機械強度等の問題を生じることなくオン抵抗を大幅に減らすことができる。結果として炭素系材料の高信頼性を

生かし、かつオン抵抗も低い炭素系材料層を用いたマイクロスイッチを実現することが可能となる。

#### 【0040】

特に、陽極酸化等の方法を用いれば、直径数十nm程度の細孔を直径と同じオーダーの間隔で作製できるので、第1の金属材料部及び第2の金属材料部から電流が通過する第1及び第2の炭素系材料層の接触点までの距離を著しく小さくすることができ、オン抵抗を著しく低減することが可能である。

#### 【0041】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。

#### 【0042】

##### (第1の実施形態)

図1及び図2は、本発明の第1の実施形態に係わるダイヤモンド薄膜を用いたマイクロスイッチの製造方法を示す工程断面図である。本実施形態のマイクロスイッチは、ビームの一端が基板に固定されるとともに他端が自由となっており（いわゆる片持ち梁構造。）、ゲート電極に電圧を印加することにより自由端が基板側に移動して、ビームに設けられた接点がコンタクト層に接触する構成となっている。

#### 【0043】

まず、図1(a)に示すように、Si基板10上に例えばプラズマCVD法により $2\mu\text{m}$ 程度の厚みのノンドープの多結晶ダイヤモンド薄膜11を形成する。炭素源にはアセトン・メタノール混合液を用い、溶液の水素バーリングにより炭素源をチャンバーに導入した。成長条件は、マイクロ波パワーを1.5kW、水素流量を200sccm、メタンガス流量を4sccmとし、原料ガスのメタン濃度は2%とした。そして原料ガスの圧力は133hPa、基板温度は850°Cとした。

#### 【0044】

次に、図1(b)に示すように、例えば $2\mu\text{m}$ 程度の厚みのBをドープした多結晶ダイヤモンド薄膜12を形成する。B源には $\text{B}_2\text{O}_3$ を使用し、これをアセトン・メタノール混合液に溶解して用いた。成長条件は前記条件と同一とした。この場合、B(

ボロン)/C(炭素)は溶液の組成で制御できる。例えば、液相のB濃度を $10^4$  ppm(B/C)として作製したダイヤモンド薄膜は $10^{21}/\text{cm}^3$ 程度のB濃度となり、抵抗率が $10^{-2}$   $\Omega \cdot \text{cm}$ 程度となって金属的な導電性を示す。さらに、Al薄膜13を例えれば真空蒸着によりBドープしたダイヤモンド薄膜12上に形成する。

#### 【0045】

次に、図1(c)に示すように、Al薄膜13を酸溶液中で陽極酸化する。ここでは、例えば硫酸溶液中でAl薄膜13を電源の正極に接続して電解することにより行う。この結果、Al薄膜13の表面には多孔質の $\text{Al}_2\text{O}_3$ (アルミナ)被膜14が形成される。実際にはAl薄膜13の大部分が多孔質被膜14になるまで陽極酸化を行う。

#### 【0046】

図3に多孔質被膜14のモデル図を示す。被膜14は下地金属(Al薄膜13)に垂直の細孔31を中心とした六角形状のセル32の集合から構成され、細孔31の底には下地金属と接して薄いバリヤー層33が存在する。細孔31の数は $10^9\text{-}10^{11}/\text{cm}^2$ であり、孔の直径は10-100nm、バリヤー層の厚みはセルの壁34の厚みとほぼ同じ10-100 nmである。多孔質被膜14の厚みは陽極酸化時の電流密度と時間によって決まり数百μm程度まで厚くすることができる。このAlの陽極酸化自体は電解コンデンサーを始め多岐に渡って応用されており、確立した技術である。

#### 【0047】

次に、図1(d)に示すように、接点となる部分以外の部分の多孔質被膜14に対して封孔処理を行う。ここでは、多孔質被膜14を残す部分を保護層(図示せず。)で覆い、沸騰水あるいは加熱水蒸気に接触させることにより行う。これにより封孔処理を行った部分において細孔31は完全に塞がれ、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ (アルミナ)からなる被膜15となる。

#### 【0048】

次に、図1(e)に示すように多孔質被膜14底部のバリヤー層33をRIE(反応性イオンエッティング)を用いて基板垂直方向にエッティング速度が速い異方性エッティングにより除去する。さらに、多孔質被膜14及び被膜15をマスクとして、酸素を用いたRIEによりBドープのダイヤモンド薄膜12を異方性エッティングする。これによりBドープのダイヤモンド薄膜12内に多数の細孔16が形成される。これらの多数

の細孔（細孔群）の細孔の密度は、 $10^9/cm^2$ 以上 $10^{11}/cm^2$ 以下であり、当該細孔群の各々の細孔の直径は、 $10\text{ nm}$ 以上 $100\text{ nm}$ 以下であった。

## 【0049】

次に、図1(f)に示すように多孔質被膜14と封孔処理を行った被膜15を除去した後、細孔16内に例えればメッキによりNi電極17aを埋め込む。Ni電極17aは細長い柱状のNi層が多数配列して構成されるものである。この際、Bドープのダイヤモンド薄膜12の上面とNi電極17aの上面とと同じ高さになるようにしてもよいが、メッキ後にNi電極を若干エッティングしてBドープのダイヤモンド薄膜12の上面よりもNi電極17aの上面が若干低くなるようにしてもよい。

## 【0050】

次に、図1(g)に示すようにBドープしたダイヤモンド薄膜12をパターニングし、ゲート電極18と第1のコンタクト層19を形成する。この時、 $O_2$ ガスを用いたRIEによりダイヤモンド薄膜12のエッティングを行う。マスク材料としてはAlを用いる。なお、このエッティング工程においてノンドープの多結晶ダイヤモンド薄膜11も多少エッティングされるが問題はない。必要があれば、エッティング時間等を制御することによりオーバーエッティング量を抑えれば良い。

## 【0051】

次に、図2(h)に示すように、犠牲層となる $SiO_2$ 層20を成膜し、エッティングにより凹部21とホール22を形成する。次に、前述した方法と同様の方法により凹部21とホール22を埋め込むように高濃度にBをドープしたダイヤモンド薄膜を形成する。さらに、このBをドープしたダイヤモンド薄膜上にAl薄膜を成膜する。

## 【0052】

この後、図2(i)に示すように、 $CCl_4$ ガスを用いたRIEによりAl薄膜をパターニングし、さらに前述した方法と同様の方法によりBをドープしたダイヤモンド薄膜をパターニングすることによりビーム23を形成する。この時、ビーム先端には接点24が形成される。ビーム23上にはAl薄膜27が残存する。

## 【0053】

次に、図2(j)に示すように先と同様な工程（図1(b)乃至図1(f)に相当。）により接点24内にNi電極17bを埋め込んだ構造を作製する。接点24内に埋め込まれたN

i電極17 bも細長い柱状のNi層が多数配列して構成されるものである。この際、Niのエッティングは接点24の細孔に到達するまで行わず、ビーム23上面に薄くNi層17cを残しておく。なお、Niのエッティングを接点24の細孔に到達するまで行った後、さらに細孔内に埋め込まれたNi電極17 bに接続するようにビーム23上面にNi等からなる金属層を形成しても良い。

#### 【0054】

次に、図2(k)に示すように犠牲層20をバッファエッチ(HF+NH<sub>4</sub>F)のエッティング液によりエッティング除去し、メタル電極25を第1のコンタクト層19上に、メタル電極26をNi層17c上にそれぞれ形成して素子が完成する。なお、接点24の接触面とNi電極17bの下面とと同じ高さになるようにしてもよいが、犠牲層20の除去中又はその後にNi電極17 bを若干エッティングして接点24の接触面よりもNi電極17 bの下面が若干高くなる（接点24の細孔内にNi電極17bの下面が位置する）ようにしてもよい。

#### 【0055】

本実施形態においては、ダイヤモンド薄膜内に直径数十nm程度の細孔を直径と同じオーダーの間隔で作製でき、細孔内に抵抗率が小さいメタル電極（17a,17b）を埋め込んでいるので、メタル電極から電流が通過するダイヤモンド薄膜の接触点までの距離が数十nmオーダーとなり、機械強度等の問題を生じることなくオン抵抗を大幅に減らすことができる。結果としてダイヤモンドの高信頼性を生かし、かつオン抵抗も低いダイヤモンド薄膜を用いたマイクロスイッチが実現できる。また、細孔内にメタル電極（17a,17b）が埋め込まれた構造となっているので、ダイヤモンド薄膜の接触面からメタル電極25までの距離による抵抗分についても、問題にならない程度に小さくなる。

#### 【0056】

##### （第2の実施形態）

図4は本発明の第2の実施形態に係わるダイヤモンド薄膜を用いたマイクロスイッチの構造を示す図であり、図1及び図2と対応する部分には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。図4(a)は上面図であり、図4(b)は上面図中のA-A'に沿った断面図である。

## 【0057】

本実施形態は第1の実施形態と同様の作製方法により作製することができる。本実施形態によるマイクロスイッチの構造は以下の通りである。即ち、Si基板10上のノンドープの多結晶ダイヤモンド薄膜11上に第1のコンタクト層49が形成されており、この第1のコンタクト層49を中心に左右対称にゲート電極48a,48bが設けられている。

## 【0058】

第1のコンタクト層49及びゲート電極48a,48bは、Bをドープした多結晶ダイヤモンド薄膜をパターニングすることにより形成されるものである。第1のコンタクト層49には、第1の実施形態と同様の方法により多数の細孔が形成されており、これらの多数の細孔の内部にNi電極47aが埋め込まれている。Ni電極47aは細長い柱状のNi層が多数配列して構成されるものである。この際、コンタクト層49の上面とNi電極47aの上面とと同じ高さになるようにしてもよいが、Ni電極を若干エッティングしてコンタクト層49の上面よりもNi電極47aの上面が若干低くなるようにしてもよい。

## 【0059】

また、第1のコンタクト層49及びゲート電極48a,48bをまたぐように、ビーム43がノンドープの多結晶ダイヤモンド薄膜11上に設けられている。このビーム43はゲート電極48a,48bの外側に2つの支持脚43a,43bを有し、これらの支持脚43a,43bの間の部分は支持脚43a,43bにより支持されて第1のコンタクト層49及びゲート電極48a,48b上に浮いた状態となる。

## 【0060】

支持脚43a,43bの間の部分には接点44が設けられており、この接点44にも第1の実施形態と同様の方法により多数の細孔が形成されており、これらの多数の細孔の内部にNi電極47bが埋め込まれている。Ni電極47bも細長い柱状のNi層が多数配列して構成されるものである。なお、Niのエッティングは接点44の細孔に到達するまで行わず、ビーム43上面に薄くNi層47cが残存している。Ni層47c上にはメタル電極46が形成されており、第1のコンタクト層49上にはビーム43を避ける位置（ビーム43を挟む位置）にメタル電極50が形成されている。

## 【0061】

なお、接点44の接触面とNi電極47bの下面とを同じ高さになるようにしてもよいが、犠牲層の除去中又はその後にNi電極47bを若干エッチングして接点44の接触面よりもNi電極47bの下面が若干高くなる（接点44の細孔内にNi電極47bの下面が位置する）ようにしてもよい。

## 【0062】

第1の実施形態のマイクロスイッチはいわゆる片持ち梁構造となっており、ゲート電圧印加により自由端が基板側に移動し、ビームに設けられた接点がコンタクト層に接触する構成となっているので、接点が傾くことがあり接触面積が小さくなる場合もある。本実施形態のマイクロスイッチにおいては、ビームの両端が固定され、その間に設けられた接点を中心に左右対称に設けられたゲート電極を用いているため、接点が傾くことなくコンタクト層に対して接触する。このため、接触面積を大きくすることができ、結果としてオン抵抗をさらに下げる事が可能となる。

## 【0063】

なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、接点にはダイヤモンドではなく、同じ炭素系材料であるグラファイトを用いてもよい。グラファイトはダイヤモンドと同様にスティキングが生じにくいが、抵抗率がやはりメタルに比べると数桁大きいというダイヤモンドと同様の問題を有しているためである。従って、本発明によりダイヤモンドを用いた場合と同様の効果を得ることが可能である。

## 【0064】

また、多孔質被膜を形成するメタル層はAlに限定されず、例えばTi、Ta、CuのようなAlと同様に多孔質被膜を形成するメタルを用いてもよい。さらにまた、埋め込む金属はNiに限定されず、Au、Ag、Pt、Cu等のような金属でもよい。

## 【0065】

また、コンタクト層（ダイヤモンド層）の下に金属層を予め形成しておく、この金属層に到達するようにダイヤモンド層に細孔群を形成し、この細孔群の各細孔を金属で埋め込み、上記金属層と外部メタル電極とをピアホール等を介して導

通させることも可能である。これにより、上記金属層を引き出し電極として、各細孔に埋め込んだ金属を外部メタル電極に接続させる構成とすることができ、より一層のオン抵抗の低減を図ることが可能である。

#### 【0066】

さらにまた、上記実施形態では基板表面に対して垂直な方向にビームを動かしスイッチング動作を行うものを示したが、基板表面に対して水平方向にビームを動かしスイッチング動作を行うものに対しても本発明を適用可能である。

#### 【0067】

その他本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施可能である。

#### 【0068】

#### 【発明の効果】

本発明によれば、炭素系材料層の細孔内に抵抗率が小さい金属材料部が埋め込まれているので、機械強度等の問題を生じることなくマイクロスイッチのオン抵抗を大幅に減らすことが可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態に係わるマイクロスイッチの製造方法を示す工程断面図。

【図2】 図1に続く工程断面図。

【図3】 多孔質膜のモデルを示す斜視図。

【図4】 本発明の第2の実施形態に係わるマイクロスイッチを示す上面図及び断面図。

【図5】 従来のマイクロスイッチの製造方法を示す工程断面図。

【図6】 従来のダイヤモンドマイクロスイッチの製造方法を示す工程断面図。

【図7】 従来の他のダイヤモンドマイクロスイッチを示す断面図。

#### 【符号の説明】

1 0 Si基板

1 1 ノンドープダイアモンド薄膜

1 2 高濃度Bドープダイヤモンド薄膜

1 3、 2 7 Al薄膜

1 4 多孔質被膜

1 5 封孔処理被膜

1 6 細孔

1 7 a、1 7 b、1 7 c Ni電極

1 8 高濃度Bドープダイヤモンド薄膜(ゲート電極)

1 9 高濃度Bドープダイヤモンド薄膜(第1のコンタクト層)

2 0 SiO<sub>2</sub>層(犠牲層)

2 1 凹部

2 2 ホール

2 3 高濃度Bドープダイヤモンド(ビーム兼第2のコンタクト層)

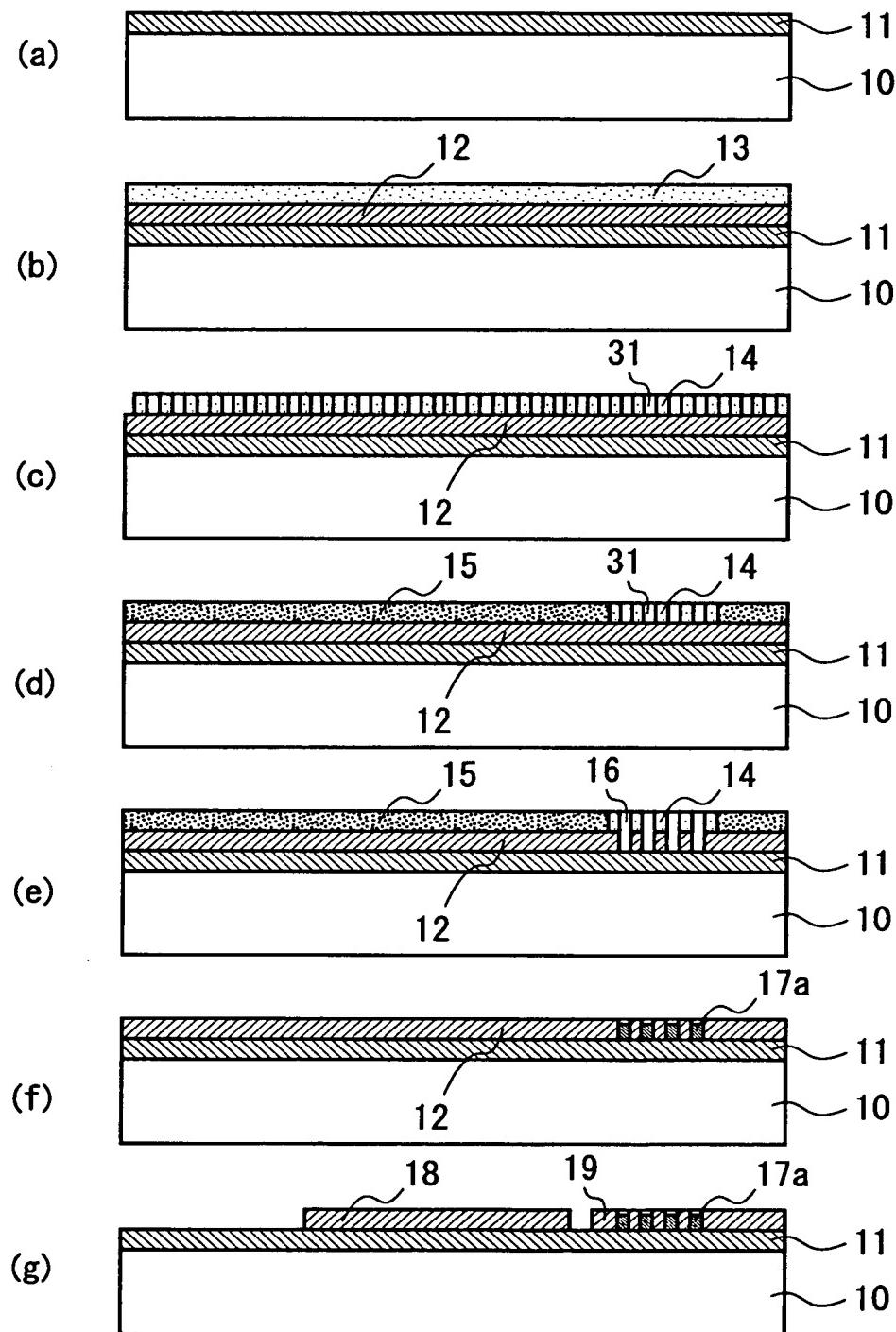
2 4 接点(高濃度Bドープダイヤモンド)

2 5 メタル電極

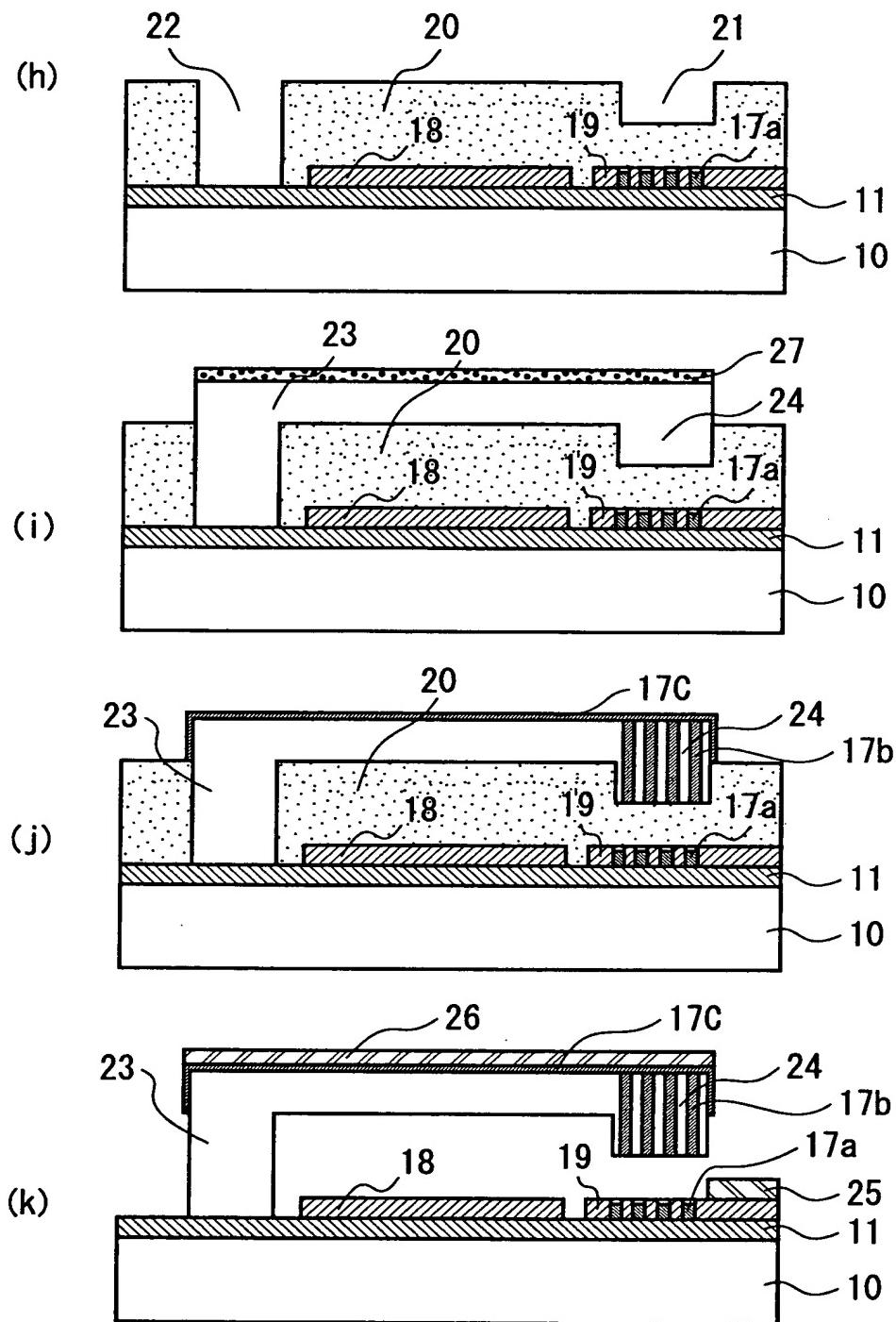
2 6 メタル電極

【書類名】図面

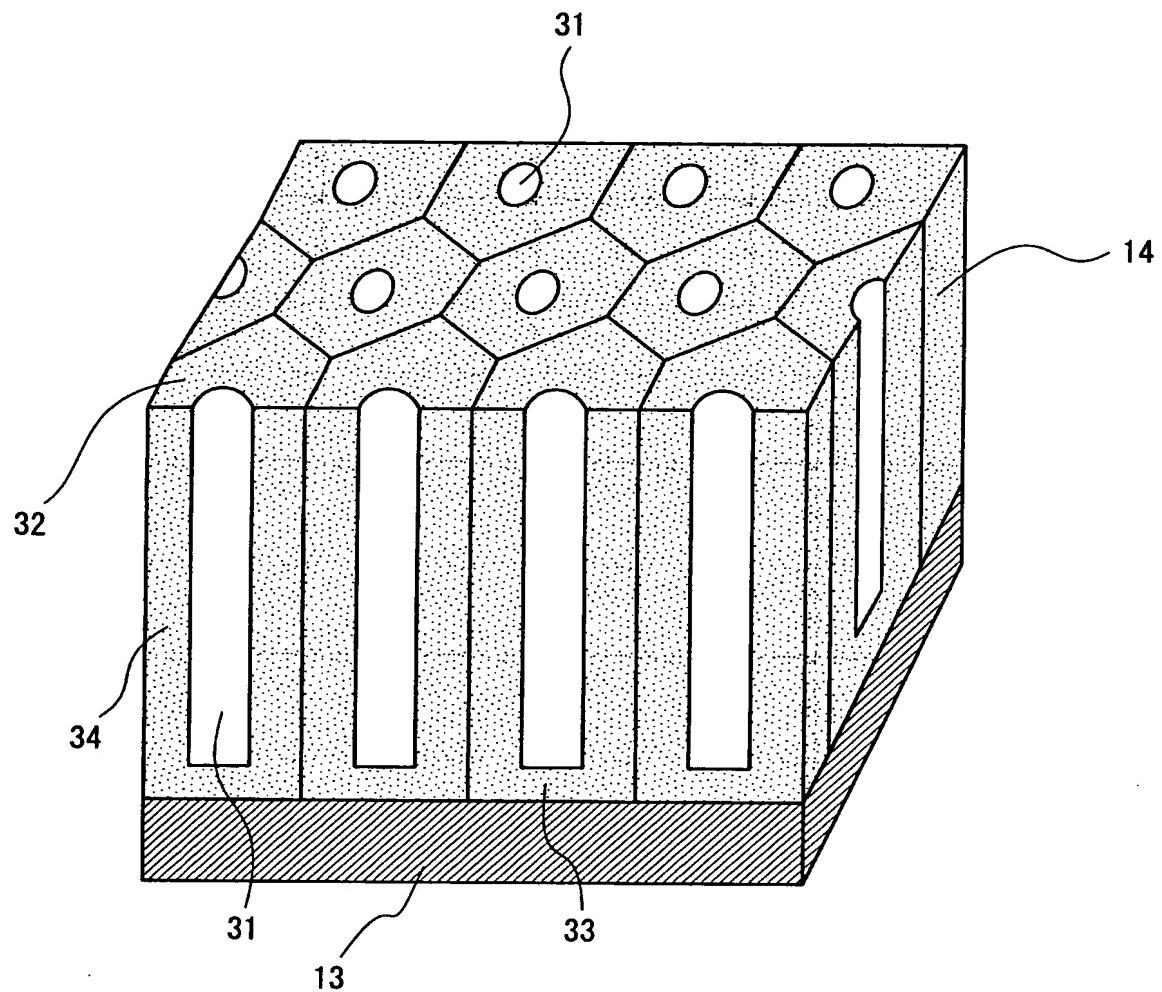
【図1】



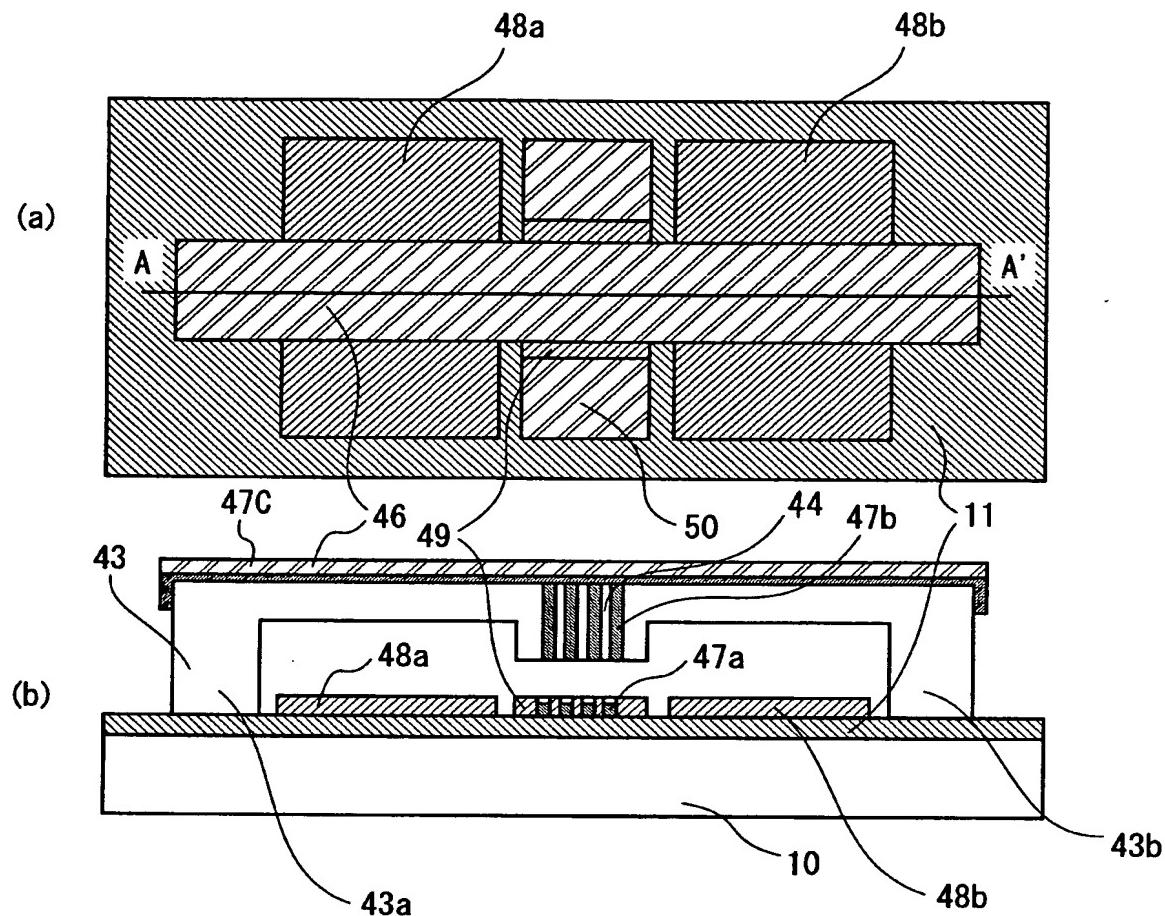
【図2】



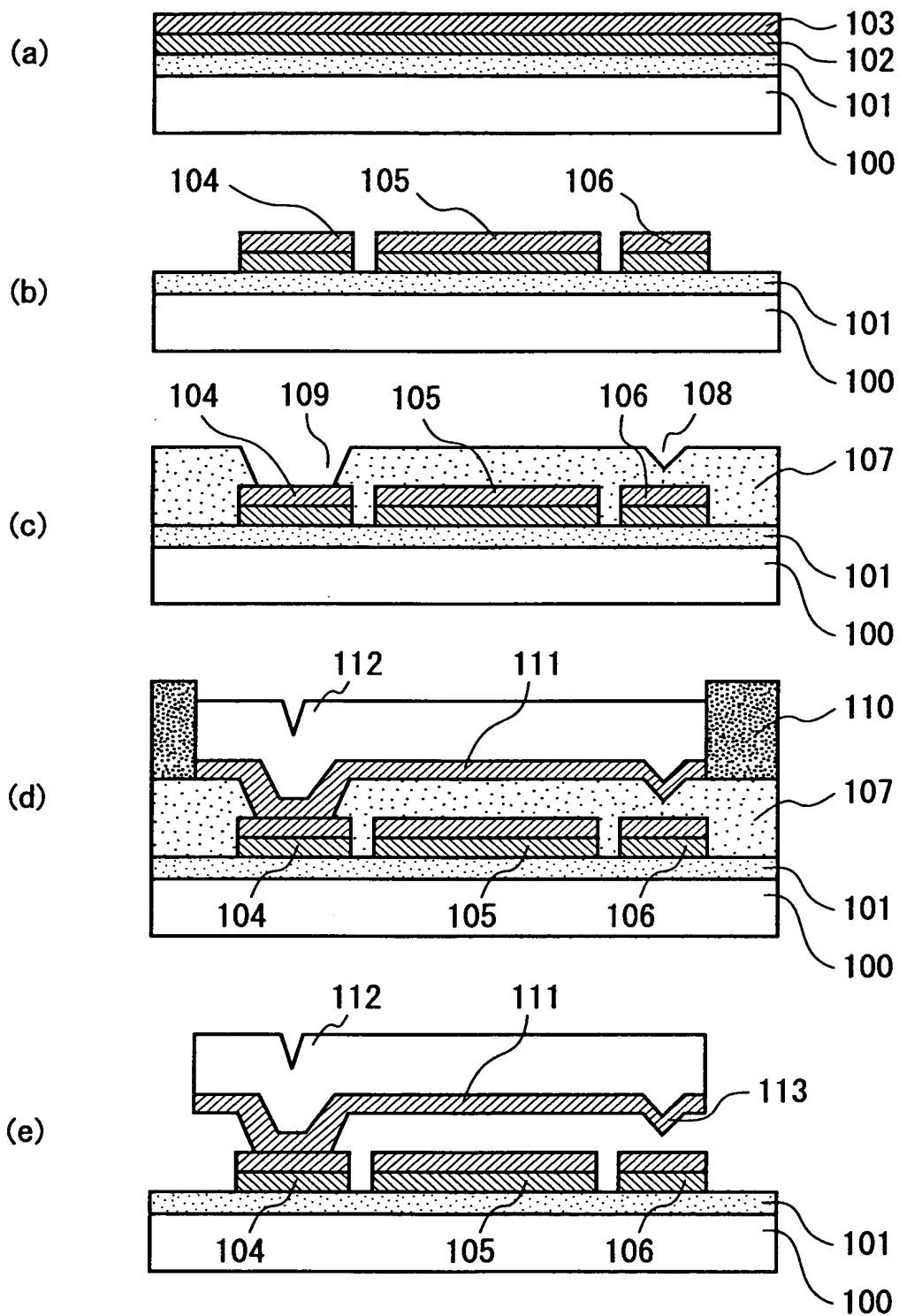
【図3】



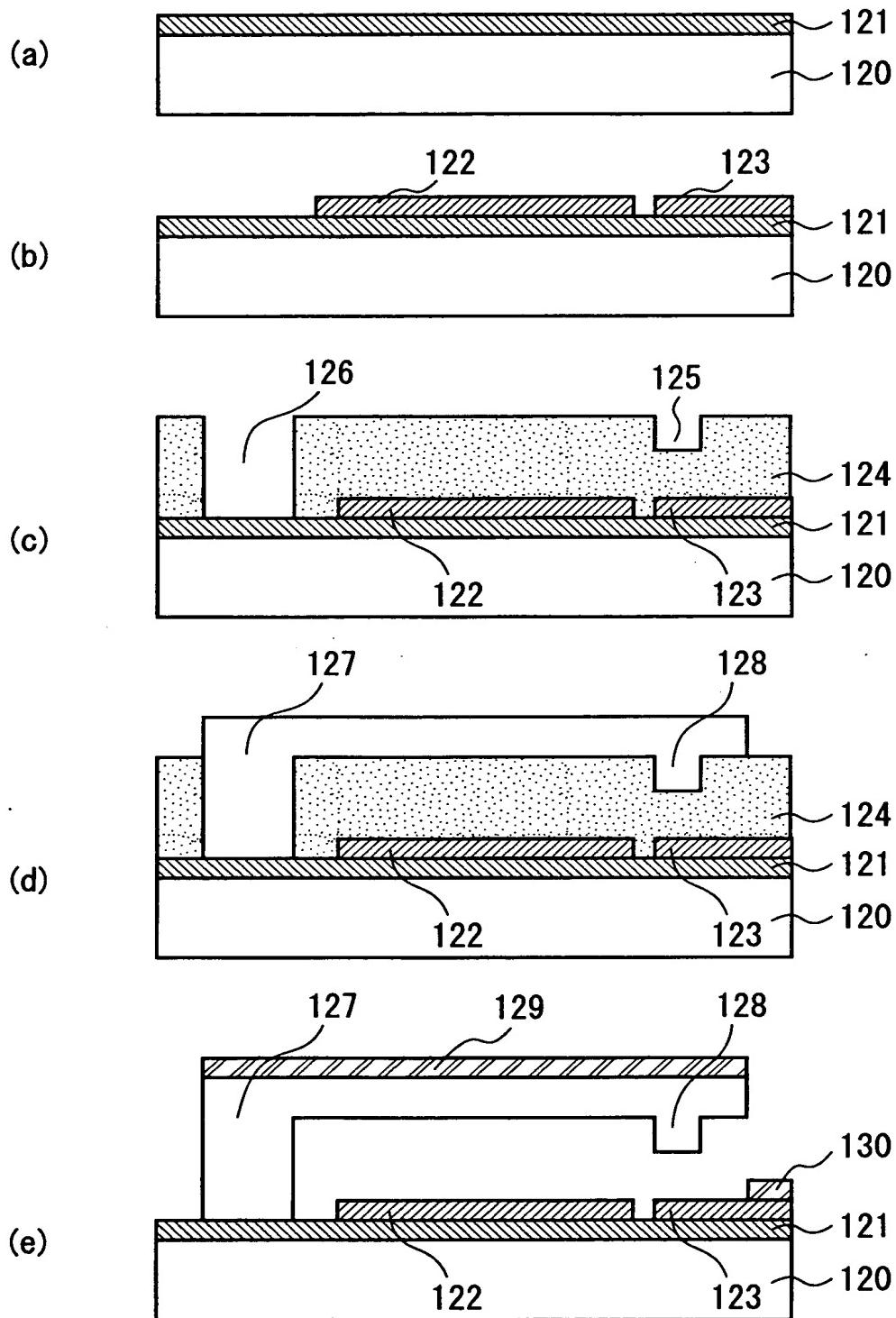
【図4】



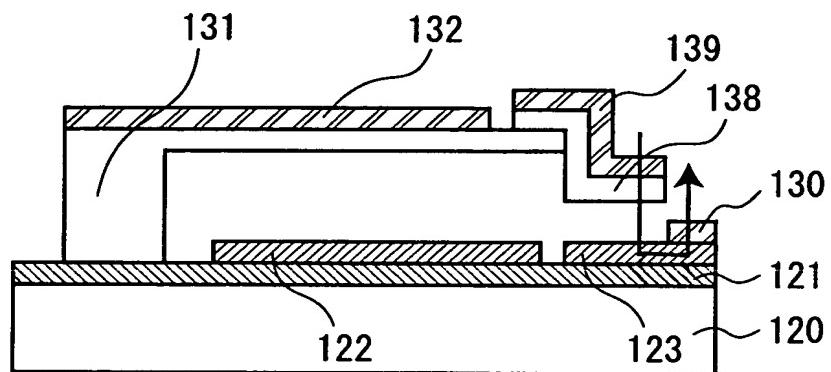
【図5】



【図6】



【図7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ダイヤモンドを接点として使用し、オン抵抗が低く信頼性の高いマイクロスイッチとその製造方法を提供すること。

【解決手段】 ダイヤモンド薄膜19、24内に直径数十nm程度の細孔を直径と同じオーダーの間隔で作製し、細孔内に抵抗率が小さいメタル電極17a、17bを埋め込んで、メタル電極25、26から電流が通過するダイヤモンド薄膜19、24間の接触点までの距離を数十nmオーダーとし、オン抵抗を大幅に減らすことにより、オン抵抗が低くダイヤモンドが本来持っている高信頼を生かしたマイクロスイッチを実現する。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号 特願2002-274365  
受付番号 50201408333  
書類名 特許願  
担当官 第五担当上席 0094  
作成日 平成14年 9月24日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 9月20日

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日 2001年 7月 2日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都港区芝浦一丁目1番1号

氏 名 株式会社東芝